

## **Проектування, технологія та експлуатація радіоелектронної техніки. Ультразвукова техніка**

### **ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ**

**Кондратенко С. Ю., Адаменко В. О., ст. викл.**  
*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
м. Київ, Україна*

Стрімкий науково-технічний прогрес продукує все більше і більше знань, які необхідно засвоїти під час отримання певної професії, тому актуальним стає використання в навчальному процесі технологій, які дозволяють покращити сприйняття та засвоєння матеріалу. Традиційно до таких технологій відносять аудіо-візуальні методи навчання. Проте якщо раніше для цього використовувалися спеціально відзняті фільми, то зараз, у зв'язку зі значним ускладненням виробничих технологій, звичайні зйомки застосувати дуже складно, а то й не можливо. Тому на їх заміну приходять методи комп'ютерної візуалізації. Відповідно актуальною задачею є визначення вимог та можливості застосування методів комп'ютерної візуалізації в навчальному процесі радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Для прикладу було обрано технологію виготовлення двосторонньої друкованої плати з металізацією наскрізних отворів. Сам процес складається з певних кроків, які зрозуміти «на словах» доволі складно, з іншого боку зображення цього процесу на дошці забирає чимало часу. Використання ж презентації з ілюстраціями кожного етапу не дає загального уявлення про динаміку технологічного процесу. Тому подання технологічного процесу у вигляді відеоматеріалу є наочним, заощаджує час і дозволяє повторити матеріал у поза навчальний час. Заощаджений лекційний час можна присвятити більш докладному викладенню нюансів даних технологічних процесів.

Визначившись з тематикою відео, потрібно обрати програмне забезпечення, яке дозволить його створити. Серед широкої номенклатури подібних програм значну частку займають вузькоспеціалізовані пакети, проте їх спеціалізації не підходять для вирішення поставленої задачі (ліпка — Pixologic ZBrush, Autodesk Mudbox, Blender, спецефекти та анімація — Houdini та Maya відповідно). Тому основними кандидатами є універсальні програмні продукти Cinema 4D і 3Ds Max.

Враховую легкість роботи, дружелюбність інтерфейсу та власні вподобання автора, було обрано Cinema 4D. Її інструментів для створення та анімації потрібних процесів цілком достатньо.

Візуалізація технології виготовлення двосторонньої друкованої плати з металізацією наскрізних отворів буде охоплювати такі етапи: свердління наскрізних отворів, гальванічне осадження тонкого шару міді, суміщення, екс-

понування та проявлення фотошаблону, гальванічне осадження міді, гальванічне осадження металорезисту, видалення фоторезисту, нанесення паяльної маски [1]. Також потрібно мати обізнаність в тому, як проходять кожний з цих етапів (як наносять чи змивають фоторезист тощо), а також розуміти технологічні особливості цих етапів (підтравлення, нерівномірність нарощення тощо) [2].

Для анімації буде використовуватись спосіб ключових кадрів (Key frame), тобто встановлення початкового і кінцевого значення, а проміжні визначаються програмою, що за потреби корегується. Використовувати скелетну анімацію (додається скелет з наступною його анімацією для забезпечення руху об'єкта) для реалізації вищеперерахованих етапів не доцільно.

Зображення етапів повинно давати уявлення про процес виготовлення, і суть операцій, що виконуються над заготовкою. Відео повинно освітлювати такі аспекти технології, як нерівномірне нарощення міді, підтравлення, механічні дефекти підчас свердління тощо. Саме ця деталізація потребує найбільших затрат, як з боку виконавця (грунтовне вивчення особливостей технологічних процесів), так і ресурсів комп'ютера (значна деталізація та висока роздільна здатність, для відтворення невеликих дефектів).

При подальшому розгляді проблеми, стає зрозуміло, що навіть при забезпеченні вище зазначених критеріїв, додані дрібні деталі можуть бути непомітними через невеликі розміри на екрані. Надмірне ж збільшення приведе до втрати загальної картини процесу, тому оптимальним виходом з ситуації є створення двох відео: одне ілюструватиме загальну картину процесу, інше — переріз невеликої частини плати. Перше ілюструватиме «ідеальний» процес, а друге буде більш деталізованим, з відображенням основних дефектів. Це допомагає уникнути надмірної деталізації без втрати якості матеріалу, що подається студентам. Далі доцільно поєднати ці відео, додавши текстові коментарі до кожного з етапів та шарів (рис. 1).

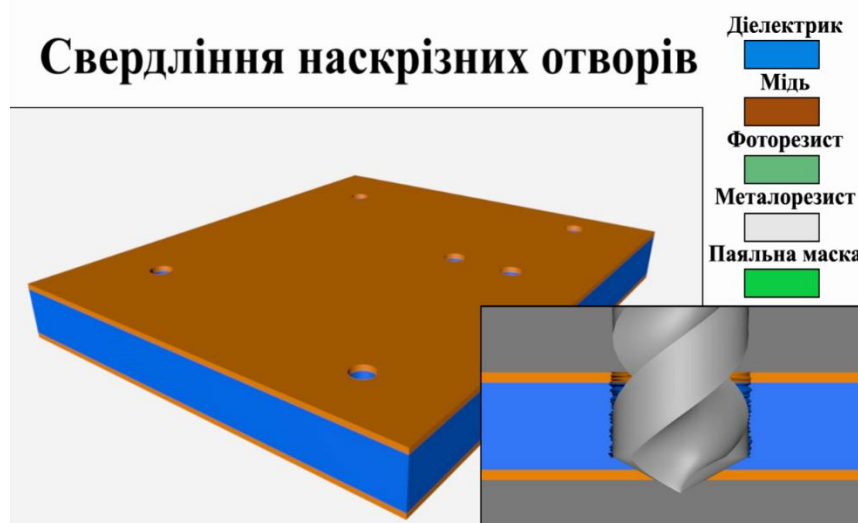


Рисунок 1 — Кадр зі створеного відео

В результаті проведеної роботи створено двохвилинне відео, яке складається з 11 ключових етапів, має роздільну здатність 1364x786, розмір 55,3 МБ, бітрейт 4 Мбит/с та кодується в два проходи. Аудіо відсутнє.

Безпосередньо затрати на створення відео (рендеринг) без врахування підготовчих операцій складає 7 – 7,5 та 3 – 3,5 годин, для першого та другого відео відповідно. Використаний комп'ютер з такими параметрами: Intel® Core™ i3-2370M Processor 3M Cache, 2.40 GHz, 8Гб ОЗУ. Для прискорення процесу використовувалось стандартні матеріали та джерело світла, не використовувались ефекти (наприклад, глобальне освітлення), знижена глибина проникнення променів, що дозволило в рази пришвидшити рендеринг води (саме це забирає найбільше часу).

Створений відеоролик буде використовуватися в рамках курсу «Проектування друкованих плат». Після проведеного тестування серед студентів, які проходять курс «САПР РЕА» заплановано внесення необхідних змін в даний ролик та створення відео роликів, які будуть ілюструвати технологію створення багатошарових друкованих плат та жорстко-гнучких друкованих плат. Крім того, отримані в процесі роботи над даними відео навички в подальшому можна використати для візуалізації технологічних процесів і для інших дисциплін, наприклад, таких як: «Електроніка, мікро- та наноелектроніка», «Проектування мікросистемної техніки» тощо.

Тестовий варіант відео можна переглянути за посиланням: <https://youtu.be/4tqgUhTT1Pk>.

### **Перелік посилань**

1. Технологии производства печатных плат в картинках / «Резонит». — Режим доступу: <http://rezonit.ru/support/articles/technology%20in%20pictures/> — Назва з екрану

2. Брусницына Л. А. Технология изготовления печатных плат / Л. А. Брусницына, Е. И. Степановских — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 200 с. .

### **Анотація**

Обґрунтовано переваги використання методів візуалізації в навчальному процесі. Проведено аналіз програм для візуалізації. Наведено основні кроки щодо візуалізації технологічних процесів. Створено відеоролик технології виготовлення двосторонньої друкованої плати.

**Ключові слова:** Методи візуалізації, технологічний процес, Cinema 4D.

### **Аннотация**

Обосновано преимущество использования методов визуализации в учебном процессе. Проведен анализ программ для визуализации. Приведены основные шаги по визуализации технологических процессов. Создан видеоролик технологии изготовления двусторонней печатной платы.

**Ключевые слова:** Методы визуализации, технологический процесс, Cinema 4D.

### **Abstract**

The advantages the use of imaging techniques in the classroom are substantiated. The analysis software for visualization are conducted. The basic steps for imaging techniques processes are shown. Video technology of printed circuit board manufacturing bilateral is created.

**Keywords:** Imaging methods, technological process, Cinema 4D.